

干热河谷生态恢复区土壤水分变化研究^{*}

庄建琦^{1,2,3}, 葛永刚^{1,2}, 王道杰^{1,2}, 郭晓军^{1,2,3}

(1. 中国科学院 山地灾害与地表过程重点实验室, 成都 610041; 2. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所; 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要:选择干热河谷生态修复区为研究对象, 利用东川国家泥石流观测研究站修建的径流小区土壤含水量观测资料, 通过分析不同土地利用类型下的土壤含水量、不同深度下的土壤含水量和土壤含水量滞后效应对降雨的响应特征, 结果显示: (1) 在碎石土中实施生态修复后, 合欢林对土壤含水量的影响较为显著, 对于抑制浅层滑坡具有一定的作用; 坡积层土壤中实施生态修复后, 石榴+横坡耕作与林草地减小了坡面径流, 从而有效地减缓了坡面侵蚀; (2) 不同土地利用类型的10 cm深度处的土壤含水量对降雨的响应明显, 变化幅度大, 且含水量受当日降水的影响明显, 相关系数在0.35以上。生态修复首先是通过土壤结构进行改良, 然后影响到土壤其他性状, 从而使土壤具有自我调节和孕育其他生物物种条件, 环境逐渐得到改善。

关键词:生态修复; 土壤含水量; 响应; 干热河谷区

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)06-0035-05

Study on Soil Moisture Variation of Ecological Restoration Area in Dry-hot Valley

ZHUANG Jian-qi^{1,2,3}, GE Yong-gang^{1,2}, WANG Dao-jie^{1,2}, GUO Xiao-jun^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Land Surface Process, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: This paper select ecological restoration area in dry-hot valley as study object, soil moisture data of runoff plots in State Field Observation and Research Station of Debris Flow in Dongchuan, Yunnan Province, southwestern China was utilized, and then soil moisture of different land use, different depth and lag effect responds to rainfall was studied. The results show that: (1) The soil moisture was significant effected by Albizzia after ecological restoration in gravel soil, it could inhibit shallow landslide; pomegranate forest and transverse slope tillage and forest grassland could reduce slope runoff, so it could mitigation slope erosion after ecological restoration in hillside waste soil; (2) The soil moisture of different in 10 cm depth had large amplitude of changes and responded significantly to rainfall; and it had close correlations with the same day's rainfall, the coefficient was above 0.35. The soil structure was improved in first stage of after ecological restoration, and then other biological species could live activities in this condition, so the ecological environment was improved.

Key words: ecological restoration; soil moisture; response; dry-hot valley area

长江上游地区的生态环境问题早已引起我国甚至国际上的关注。该地区以高山、中低山和丘陵为主要的地貌特征, 是我国水土流失最严重的区域之一。滑坡和泥石流是该地区发生最普遍和严重的山地灾害。其一级支流——小江流域是长江上游典型的干热河谷区, 是我国水土流失最为严重的区域之

一, 也是滑坡泥石流发育最为广泛的区域之一, 同时也是我国生态修复的重点区域, 但是由于干热河谷区降雨少等气候原因, 使得该区域植被恢复难度大。目前, 我国已经加快了该地区的生态环境恢复进程。正在开展的“天然林资源保护工程”和“退还林还草建设工程”两项生态工程就是其标志, 对该区生态建

* 收稿日期: 2009-05-20

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAC10B04); 国家自然科学基金项目(40771025); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-302)

作者简介: 庄建琦(1982-), 男, 河南商丘人, 博士生, 主要从事水土保持方面的研究。E-mail: zhuangjianqi06@mails.gucas.ac.cn

设和保护意义重大。生态修复区的土壤环境变化是研究生态修复效益的关键因子。为此,许多学者对干热河谷区生态修复和生态现象做了大量的研究工作^[1-3]。目前,国内外对干热河谷的研究主要集中在土壤侵蚀、滑坡泥石流和生态修复方面^[1,4]。生态修复是治理土壤侵蚀和滑坡泥石流的非工程措施,生态修复对于土壤侵蚀、滑坡、泥石流治理效果可以从不同角度来探讨,目前最直接的方法是小区观测和河口观测法^[5],这些方法是一种黑箱式的评价方法,生态修复对土壤侵蚀、滑坡和泥石流的抑制作用首先是通过改变土壤性能和雨滴动能来实现的,土壤性能改变后,最直接的效果是土壤含水量的变化和雨滴入渗情况的改变,以及对地表径流产生的影响。因此探讨生态修复对滑坡泥石流的抑制作用,首先要看土壤含水量对降雨响应的改变情况,目前对这方面的研究国内外还是一项空白。同时土壤水分是影响植物生存、生长发育和环境对植被支持力的关键因素,也是土壤-植物-大气连续体的一个关键因子,是土壤系统养分循环和流动的载体^[6],生态植被恢复对于土壤的改进主要体现在土壤水分上面,同时也是生态水文效应的一种体现^[7]。不同植被状况的差异,对于土壤的影响主要在于改善土壤结构和孔隙状况两方面^[8],从而导致土壤水分特征与对降雨的响应差异显著,研究其不同植被恢复类型的土壤水分变化特征,对于揭示植被恢复对防治水土流失、滑坡的作用具有十分重要的意义。

本文选择滑坡异常发育区域-小江一级之流蒋家沟小流域作为研究区域,通过对生态修复区土壤水分和降雨的观测,研究不同植被恢复土壤含水量变化对降雨的响应,为生态修复和滑坡治理提供参考。

1 研究区域

蒋家沟流域位于滇东北高山峡谷区,是著名的泥石流多发沟,地处小江深处大断裂带和干热河谷区。流域内老构造错综复杂,新构造运动强烈,岩层十分破碎,地形的显著特点是沟深坡陡,流域平均坡度为 43°,土壤类型主要有砾石土、燥红土、黄红壤 3 种,土地利用类型主要有林地、草地、坡耕地、裸地等。流域内由于长期过度砍伐、放牧,导致区域内山坡林草覆盖率较少,2006 年林地约占流域总面积的 11.5%,裸露荒地约占总面积的 16.1%。流域内受西南季风气候控制,区内年均气温 20.2℃,极端最高气温 40.9℃,极端最低温度-6.2℃,年活动积温 7 177℃;干湿季分明,垂直气候带明显,年均降水量 691.3 mm,88% 的降水集中在 5-10 月,年均蒸发量为 3 752.7 mm,蒸发量是降水量的

5 倍多。独特的气候、地形和地质条件,加上人类不合理的经济活动,致使水土流失、崩塌、滑坡及泥石流等灾害活动十分强烈^[9]。

2 资料和方法

东川泥石流国家观测研究站按照土地利用类型建立了 6 个标准径流小区,每个径流小区规格为:长 20 m,宽 5 m,分别在径流小区的上、中、下 3 个部位设置土壤含水量观测设施。试验从 2005 年开始,每年 6-9 月进行每日采样,采用土壤剖面法,从地表向下挖至 40 cm,按不同深度(10, 20, 30, 40 cm)分别设置土壤含水量监测标识,利用土壤水体积含水量 CNC503DR 型中子水分仪进行监测。

(1) 土壤含水量。测定数值为体积百分比。试验期间每天 19:00 时用 CNC503DR 型中子水分仪测定 1 次,降雨后加测。每 10 cm 一个层次,共 4 个层次,然后即上、中、下 3 个含水量进行平均,获得该径流小区的含水量。

(2) 降雨量。位于实验站旁侧的气象站的常规测定数据。降雨观测是利用自动雨量计,用于连续记录液体降水、降水起迄和降水强度的自记仪器,降雨量可以精确到 0.1 mm,记录误差仅为 0.05 mm。

表 1 径流小区背景资料

编号	植被类型	坡度/(°)	土壤类型
1	合欢林	27	坡积层发育的砾石土
2	合欢林+ 剑麻	27	坡积层发育的砾石土
3	合欢截杆林	27	坡积层发育的砾石土
4	石榴林	22	红壤剥蚀后坡积层发育的黄棕壤
5	石榴林+ 横坡耕作	22	红壤剥蚀后坡积层发育的黄棕壤
6	林草地	25	红壤剥蚀后坡积层发育的黄棕壤

3 结果分析

3.1 不同土地利用下的土壤含水量的差异

不同土地利用下的土壤含水量差异主要是由于不同植被类型对土壤的改良作用和对蒸发、截留的影响所造成的。图 1 是 6 种不同土地利用和处理方式下的不同深度土壤含水量变化情况,由图可以看出:不同土地利用类型对土壤含水量的影响差异显著。合欢林土壤含水量在时间变化上受降雨影响较为显著,0-40 cm 土壤含水量在整个观测季节内都小于 35%,其中 10 cm 深度处的含水量较其他深度的含水量小,对降雨的响应最为显著;其他深度的含水量随着深度的增加逐渐变小,变化幅度小,且含水

量一般在 20% 以上。合欢林+ 剑麻, 在整个观测时间段内, 土壤 10 cm 深度处的含水量一直很小, 在 18% 以下, 且对降雨的响应幅度较小, 这主要是与剑麻根系的分布和吸收有关。其他深度的含水量一直维持在 20% 以上, 受降雨影响程度较大。合欢截杆林土壤含水量在观测季节内的变动趋势, 与合欢林+ 剑麻大致相同, 10 cm 深度处的含水量很小, 且对降雨的响应不明显, 变化幅度小, 这主要是由于合欢截杆后, 表层土壤直接暴露在表面, 蒸发快, 使得表层土的土壤含水量很低。但是深层含水量很高, 且对降雨的响应不明显, 40 cm 深度处的土壤含水量从观测开始的接近 60%, 一直到观测结束都维持在 25% 以上。上述现象, 表明在碎石土中实施生态修复后, 合欢林对土壤含水量的影响较为显著, 增加了表层含水量, 降低了深层土壤的含水量, 对于浅层滑坡发生较为频繁的碎石土具有一定防治效果。石榴林土壤含水量表现为 10 cm 深度处的土壤含水量最

大, 但没有超过 25%, 波动明显, 受降雨影响显著; 20 – 40 cm 深度处的土壤含水量较小, 都在 10% 以下, 基本没有波动, 受降雨影响很小, 这主要与石榴根系和枝叶茂盛有关。横坡耕作后, 降低了坡面水分运动, 增加了土壤入渗, 使得在深度处的有一个含水量高峰。其他基本上是随着深度增加而降低, 受降雨的影响程度同样随着深度的增加而降低, 这与平地基本相似。林草地的土壤含水量, 小于 20 cm 深度处的土壤含水量相对较高, 在 20% 以上, 最高可达 35% 以上。10 cm 深度处的土壤含水量对降雨的响应最为明显, 其次是 20 cm 深度处的土壤含水量, 30 cm 深度处以下的土壤含水量较低, 都在 15% 以下, 受降雨影响不明显, 基本没有波动。上述现象表明在坡积层土壤中实施生态修复后, 石榴+ 横坡耕作与林草地对土壤含水量的影响较为显著, 增加了土壤入渗, 减小了坡面径流, 由于在这种坡积层上坡面侵蚀影响严重, 从而有效地减缓了坡面侵蚀。

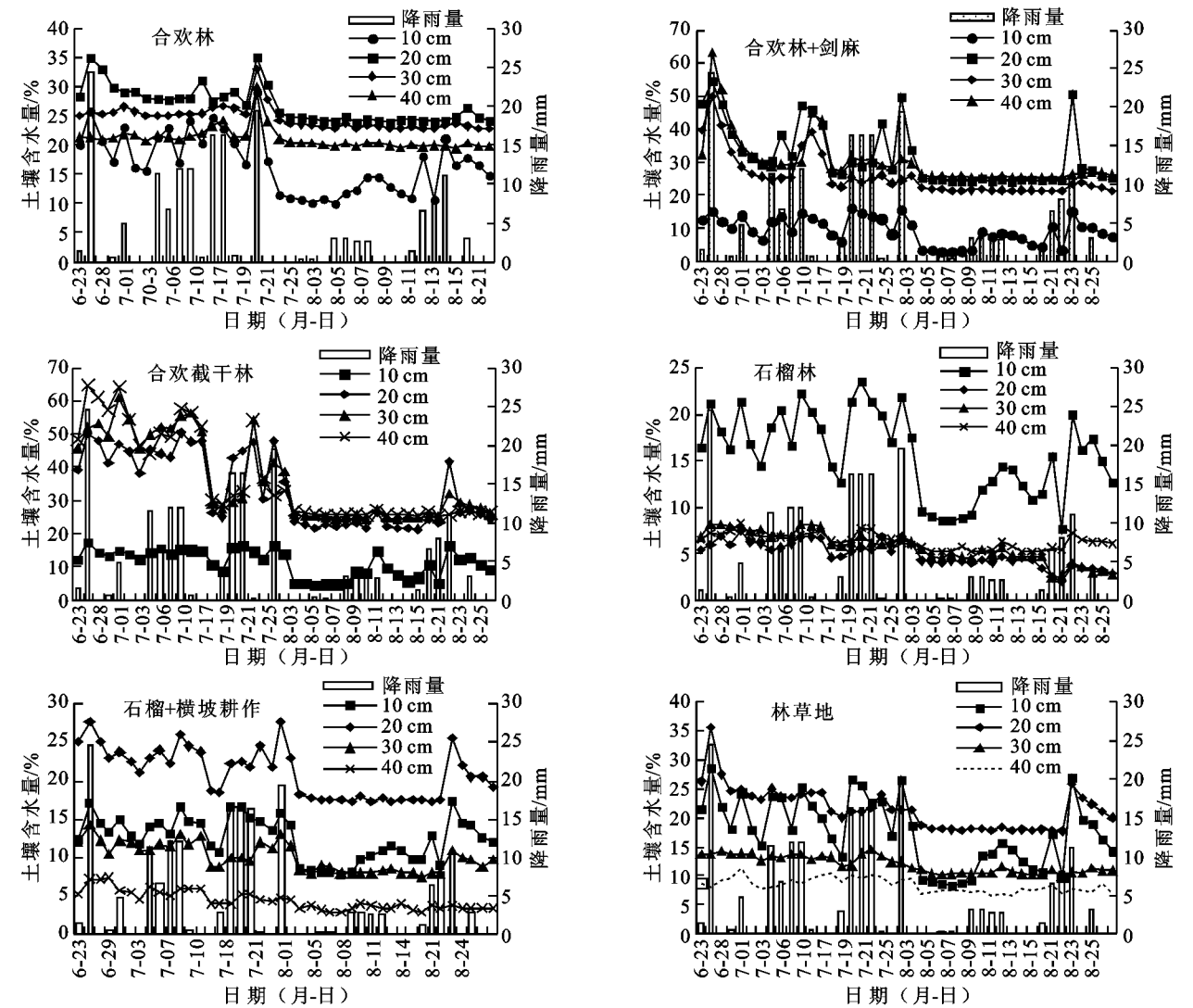


图 1 不同土地利用类型土壤含水量对降雨的响应

3.2 不同深度含水量变化特征

图 2 反映的是不同土地利用状况在在同一深度的变化特征, 10 cm 深度处的土壤含水量可以看出, 变化都很显著, 对降雨的响应明显, 变化幅度大。20 cm 深度处的含水量对降雨的响应不及 10 cm 深度处的土壤含水量, 合欢截杆林和合欢+ 剑麻土地利用类型受降雨影响较为显著, 石榴林在整个观测季节内基本没有波动, 且含水量在 10% 以下, 受降雨影响很小。在 30 cm 和 40 cm 深度时, 合欢截杆林

和合欢+ 剑麻土地利用类型受降雨影响显著, 波动明显, 含水量高; 其次是合欢林, 只是对持续降雨略有响应。石榴林、石榴林+ 横坡耕作和林草地土地利用类型的土壤含水量基本没有变动, 受降雨影响很小。

上述现象说明土壤结构对土壤含水量的影响起到主导作用, 不同的植被恢复类型只是对土壤含水量起到协调作用, 植被恢复通过改变土壤结构来影响土壤含水量的变化。

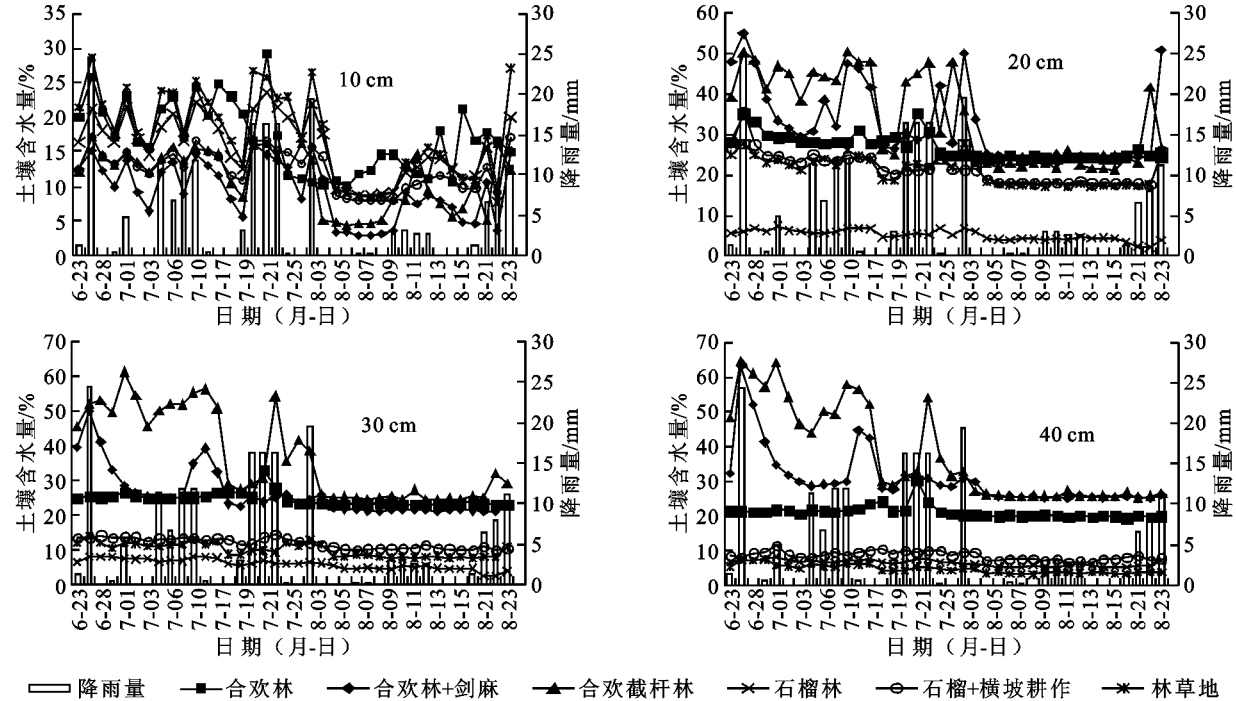


图 2 不同深度含水量变化对降雨的响应特征

3.3 同种土地利用下的含水量在深度变化和滞后特征

图 3 反应的是土地利用状况在不同深度土壤含水量(年平均)的变化情况, 合欢截干林表现为 10 cm 深度处的含水量较大, 而在 20 cm 深度处的含水量出现一个最小值, 随着深度的增加, 含水量略有增加, 但整体来看, 含水量最小, 基本都在 15% 以内。合欢林、石榴+ 横坡耕作和林草地表现为: 10 cm 深度处的含水量较小, 在 20 cm 深度处的含水量出现一个最大值, 随后随着深度的增加含水量逐渐减少, 合欢林+ 剑麻表现为在 10 cm 深度很小, 在 20 cm 深度和 40 cm 深度出现高值, 呈“之”字形分布。合欢截干林在整个深度范围内随着深度增加而增加, 在 10- 20 cm 深度增加幅度最大, 此后增加幅度很缓, 总体含水量最大。这些变化特征, 主要可能是与植被类型有关系, 不同的植被类型其根系分布和深度有明显差异, 从而导致在不同深度土壤含水量有明显差异。

通过不同深度的土壤含水量变化分析可知, 10 cm 深度处土壤含水量对降雨的响应最为明显, 因此探讨了 10 cm 深度处的土壤含水量在不同滞后时间下与降水之间的相关关系。

不同植被类型下的土壤含水量受当日降水的影响明显, 相关系数在 0.35 以上, 此后随着时间的推移, 相关系数逐渐减小, 相关系数曲线呈逐渐减小的趋势。合欢林在第二天后便呈现出负相关, 其他植被类型到达第 5 天时, 相关系数变为负值。其中林草地土壤含水量滞后时间响应最有规律, 相关系数曲线基本呈直线衰减。

4 结论

研究干热河谷生态修复区不同植被类型下土壤水分动态变化, 有助于了解植被修复区修复效应, 同时可以探讨不同植被类型对土壤的改良作用, 为寻找适宜生态修复物种、发展治理机理探讨, 提供参考价值。通过研究特出如下结论:

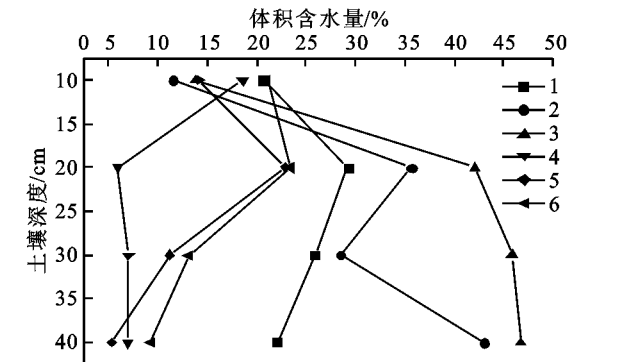


图 3 同种土地利用下的不同深度含水量变化

(1)在碎石土中实施生态修复后,合欢林对土壤含水量的影响较为显著,增加了表层含水量,降低了深层土壤的含水量。对于减少浅层滑坡具有一定的作用。坡积层土壤中实施生态修复后,石榴+横坡耕作与林草地对土壤含水量的影响较为显著,增加了土壤入渗,减小了坡面径流,从而有效地减缓了坡面侵蚀。

(2)不同土地利用类型的 10 cm 深度处的土壤含水量,变化显著,对降雨的响应明显,变化幅度大。含水量受当日降水的影响明显,相关系数在 0.35 以上,此后随着时间的推移,相关系数逐渐减小,相关系数曲线呈逐渐减小的趋势。

(3)综合结果表明:生态修复首先是通过土壤结构进行改良,然后影响到土壤其他形状,从而使得土壤具有自我调节和孕育其他生物物种条件,环境逐渐得到改善。

(4)对干热河谷区进行生态修复,首先要选择合适的物种,采取有效地措施,才能起到良好的效果。对于人口密集、耕地少的区域,采取横坡耕作,并种植经济林是提高干热河谷区土地利用效率、土地生产力和减少水土流失的有效途径。

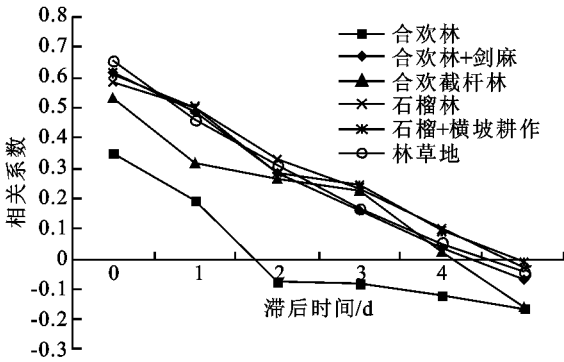


图 4 土壤含水量变化的滞后特征

参考文献:

[1] 杨永红,刘淑珍,王成华.土壤含水量和植被对浅层滑坡土体抗剪强度的影响[J].灾害学,2006,21(2):50-54.

[2] 张明忠,朱红业,张映翠,等.云南干热河谷旱坡地两种覆盖措施对土壤水分的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(3):37-40.

[3] 王道杰,崔鹏,朱波,等.金沙江干热河谷植被恢复技术及生态效应[J].水土保持学报,2004,18(5):95-98.

[4] 李少丽,丰瞻,王宇.恢复生态学理论在西南重大水电工程区生态修复中的应用探讨[J].灾害与防治工程,2007,63(2):74-80.

[5] 薛顺康.生态修复项目监测初探[J].中国水土保持,2004(11):8-10.

[6] 巩合德,张一平,刘玉洪,等.哀牢山常绿阔叶林土壤水分动态变化[J].东北林业大学学报,2008,36(1):53-54.

[7] 张俊斌,黄雍杰,梁大庆.不同坡地土壤水分分布变化之研究[J].水土保持研究,2007,14(1):301-304.

[8] 马福武,贾志兰.晋西黄土丘陵沟壑区不同地类土壤水分变化规律研究[J].中国水土保持,1998(2):26-28.

[9] 崔鹏,王道杰,韦方强.干热河谷生态修复模式及其效应:以中国科学院东川泥石流观测研究站为例[J].中国水土保持科学,2005,3(3):60-64.

[10] 罗国占,赵廷宁,王贤,等.吴旗县覆沙黄土区退耕还林结合封禁的植被恢复效果研究[J].水土保持研究,2006,13(3):80-82.

[11] 甄计国,陈亚伟.植被指数与退耕还林草初期的遥感监测应用[J].遥感技术应用,2006,21(1):41-48.

[12] 牛宝茹,刘俊蓉,王政伟.干旱区植被覆盖度提取模型的建立[J].地理信息科学,2005,7(1):84-86.

[13] 信忠保,许炯心,郑伟.气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响[J].中国科学 D 辑:地球科学,2007,37(11):1504-1514.

[14] 朴世龙,方精云.最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化[J].第四纪研究,2001,21(4):294-302.

[15] 李月臣,宫鹏,刘春霞,等.北方 13 省 1982-1999 年植被变化及其与气候因子的关系[J].资源科学,2006,28(2):109-117.

[16] 李春晖,杨志峰.黄河流域 NDVI 时空变化及其与降水/径流关系[J].地理研究,2004,23(6):753-758.

[17] 王万忠,焦菊英,郝小品.黄土高原侵蚀产沙强度、面积、数量间相互关系的统计分析[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(1):54-60.

[18] 张经济,冀文慧,冯晓东.无定河流域水沙变化现状、成因及发展趋势的研究[M]//汪岗,范昭.黄河水沙变化研究(2 卷).郑州:黄河水利出版社,2002:393-429.

(上接第 34 页)